

Klimaänderungen – ist der Mensch Schuld daran ?

von Eike Roth

e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Klimadiskussionen haben Hochsaison. „Die Wissenschaft ist sich einig: Das Klima ändert sich, der Mensch ist schuld daran und ohne einschneidende Gegenmaßnahmen werden die Folgen katastrophal sein“, sagen die Einen. „Stimmt nicht, es gibt keinen Konsens, die Treibhaustheorie ist falsch, das Klima hat sich immer schon geändert, wir Menschen können es gar nicht beeinflussen, die Gegenmaßnahmen sind wirkungslos und werden die Wirtschaft kaputt machen“, sagen die Anderen.

Was stimmt? Betreibt die eine Seite unverantwortliche Panikmache oder die andere unverantwortliche Verharmlosung? Tatsache ist, dass es streng genommen für keine der beiden Seiten einen exakten Beweis gibt. Die große Mehrheit der einschlägigen Experten gehört eindeutig zu den Klimawarnern. Aber Wissenschaft wird nicht nach Mehrheiten entschieden. Außerdem gibt selbst die Mehrheit Unsicherheiten zu: „Mit 90 % Wahrscheinlichkeit ist der Mensch Ursache der laufenden

Klimaänderung“, urteilt z. B. das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ein von der UNO eingesetztes Expertengremium, das 2007 seinen 4. Bericht („Assessment Report“) vorgelegt hat. 90 % sind zweifelsfrei nicht 100 %.

Doch Unsicherheiten sind nichts Außergewöhnliches. Die haben wir fast überall und wir müssen trotzdem entscheiden. „Entscheidungen unter Unsicherheiten“ sind die tägliche Last von Verantwortungsträgern. Wenn mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit schwerwiegende Folgen zu befürchten sind, müssen wir uns vorsorglich für Gegenmaßnahmen entscheiden. Beim Klima scheint das der Fall zu sein (siehe hierzu auch den Beitrag von Schönwiese „[Ändert der Mensch das Klima ?](#)“).

Als weitgehend gesichert können gelten:

- Das Klima ändert sich.
- Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist schon um über 30 % gestiegen, und sie steigt ständig weiter.

- Dieser Anstieg ist überwiegend auf das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas zurückzuführen.
- Der (natürliche) Treibhauseffekt erwärmt die Erde um 33 Grad Celsius. Nur dadurch ist höheres Leben auf der Erde überhaupt möglich.
- Eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Atmosphäre verstärkt den Treibhauseffekt jedenfalls prinzipiell (anthropogener Treibhauseffekt).
- Zumindest ein Teil der beobachteten Erwärmung kann auch auf eine erhöhte Sonneneinstrahlung zurückzuführen sein.

Umstritten sind:

- Wie stark verstärkt die erhöhte CO₂-Konzentration den Treibhauseffekt ?
- Welchen Beitrag zur Erwärmung liefert das CO₂ und welchen die Sonne?
- Sollen wir (jetzt) einschneidende Maßnahmen zur Klimavorsorge ergreifen?

Extrem stark umstritten ist:

- Welche Maßnahmen helfen uns wie viel, und welche sollen wir tatsächlich ergreifen?

In der Langfassung sind Begründungen zu den „weitgehend gesicherten“ Aussagen und Argumente zu einer Plausibilitätsbeantwortung der umstrittenen Fragen angegeben. Im Ergebnis erweisen sich „vorsorgende Maßnahmen“ als dringend angeraten. Welche das sein können, wird kurz aufgezählt. Wie viel diese Maßnahmen leisten können

und was sie kosten, wird in ergänzenden Beiträgen des gleichen Autors untersucht, die demnächst erscheinen werden:

- „Klimagefahren – Wie viel kann uns die Kernenergie helfen?“
- „Regenerative Energien – immer ein Schritt in die richtige Richtung?“ und
- „Abwehr drohender Klimagefahren – Was bedeutet das?“

Klimaänderungen – ist der Mensch Schuld daran ?

von Eike Roth

e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

Ändert sich das Klima ?

Ja. Messungen der bodennahen Lufttemperatur zeigen eine Erwärmung um ca. 0,7 Grad Celsius im letzten Jahrhundert, nur unterbrochen von einer leichten Abkühlung von etwa 1945 bis 1975. Danach ist die Erwärmung besonders stark ausgeprägt. Eine Neuauswertung der Daten von Satellitenmessungen bestätigt diesen Trend (frühere gegenteilige Aussagen wurden mittlerweile korrigiert). Der weltweite Rückgang der Gebirgsgletscher (etwa 50 % Volumenverlust seit 1900!) bestätigt die eingetretene Erwärmung eindrucksvoll.

Ändert sich die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) ?

Ja. In der vorindustriellen Zeit betrug die CO₂-Konzentration in der Luft ca. 280 ppm (Millionstel Volumenanteile). Heute beträgt sie 380 ppm, und sie steigt laufend weiter. Der Anstieg ist durch zahlreiche Messungen bestätigt.

Ist die CO₂-Zunahme vom Menschen verursacht?

Ja. In der Atmosphäre sind ca. 750 Milliarden t Kohlenstoff (Gt C) in der Form von CO₂ gespeichert (1 kg C entsprechen 3,66 kg CO₂). Diese stehen in intensivem Austausch mit der Biosphäre (Fotosynthese, Verrotten, Ausatmung) und der Hydrosphäre (Lösen in und Ausgasen aus Wasser). Diese Prozesse sind von Natur aus im Gleichgewicht, es wird also gleich viel CO₂ zurückgegeben wie entnommen. Man schätzt, dass davon jährlich etwa 200 Gt C betroffen sind. Die anthropogenen CO₂-Freisetzen sind demgegenüber sehr klein: Jährlich ca. 7 Gt C aus der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas und ca. 1 Gt C aus der Landnutzung. Da ihnen aber keine adäquaten Senken (Prozesse, die CO₂ aus der Atmosphäre entnehmen) gegenüberstehen, führen sie allmählich zu einer Anreicherung des CO₂ in der Atmosphäre. Der Anstieg verläuft parallel zur Verbrennung von Kohle, Öl und Gas. Es ist kein natürlicher Prozess mit einem geeigneten zeitlichen

Verlauf bekannt, der die beobachtete CO₂-Zunahme erklären könnte.

Gibt es den Treibhauseffekt überhaupt ?

Ja. Der Treibhauseffekt ist eine Folge davon, dass bestimmte Spurengase in der Atmosphäre („Treibhausgase“, insbesondere CO₂, aber auch Wasserdampf - H₂O, Methan - CH₄, und noch viele andere) das hereinkommende (kurzwellige) Sonnenlicht ungehindert durchlassen, die von der Erde in den Weltraum hinausgehende längerwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) aber zu einem erheblichen Teil absorbieren. Durch diese Absorption wird die Luft erwärmt und sendet nun ihrerseits Wärmestrahlung aus, natürlich in alle Richtungen, also je zur Hälfte nach außen in den Weltraum und zurück zur Erde. Diese zurückkommende Strahlung wird als „Gegenstrahlung“ bezeichnet. Sie erwärmt die Erdoberfläche zusätzlich zur Sonneneinstrahlung. Die wärmere Erde sendet dann wiederum mehr Wärme-

LANGFASSUNG

strahlung aus. Die Erwärmung der Erde schreitet so lange voran, bis trotz der teilweisen Absorption in den Treibhausgasen insgesamt genau so viel Strahlung in den Weltraum hinausgeht, wie von der Sonne auf die Erde hereinkommt.

Von Natur aus sind bestimmte Treibhausgase in der Atmosphäre vorhanden. Sie bewirken einen (natürlichen) Treibhauseffekt von 33 Grad Celsius (°C). Nur als Folge dieses natürlichen Treibhauseffektes ist es auf der Erde „gemütlich warm“. Andernfalls wäre die globale Jahresdurchschnittstemperatur minus 18 °C. Wird die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre erhöht, erhöht sich auch der Treibhauseffekt. Soweit das durch den Menschen verursacht wird, spricht man vom „anthropogenen Treibhauseffekt“.

Gegen diese Erklärung wird immer wieder eingewandt, dass es die beschriebene Gegenstrahlung und die durch sie bewirkte Wärmezufuhr zur Erdoberfläche nicht geben könne, da die Luft kälter ist als die Erdoberfläche und nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (einem Grundgesetz der Physik) Wärme (von selbst) immer nur vom wärmeren zum kälteren Gegenstand übergehen kann. Aber dieser Einwand ist falsch. Es geht ja auch Wärmestrahlung von der Erde zur Luft. Der Zweite Hauptsatz fordert nur, dass die zurückkommende Gegenstrahlung kleiner sein muss als die von der Erde zur Luft gehende Wärmestrahlung. Die Erdoberfläche kühlt auch mit Gegenstrahlung ab, nur eben langsamer als ohne

Gegenstrahlung. Der Effekt ist der gleiche wie der einer bewölkten Nacht: Nach einer solch klaren ist der Morgen wärmer als nach einer sternklaren Nacht. Beide Effekte stehen nicht im Gegensatz zum Zweiten Hauptsatz.

Manchmal wird gegen den anthropogenen Treibhauseffekt auch eingewandt, dass CO₂ bereits in seiner natürlichen Konzentration alle Wärmestrahlung absorbiert, die durch CO₂ absorbiert werden kann. Eine erhöhte Konzentration könne daher keinen zusätzlichen Treibhauseffekt bewirken. Auch das ist eindeutig falsch. Es stimmt zwar für bestimmte Wellenlängen, bei denen CO₂ besonders stark absorbiert, aber bei anderen Wellenlängen ist die Absorption noch lange nicht in Sättigung. Es gilt zweifelsfrei: Je mehr CO₂, desto mehr Wärmestrahlung wird auch absorbiert. Die Physik lässt einen Treibhauseffekt eindeutig zu. Man kann nur darüber streiten, wie groß er wirklich ist.

Das Klima hat sich immer schon geändert.

Ja, das stimmt und früher war die Ursache selbstverständlich immer eine natürliche. Aber das rechtfertigt nicht den Schluss, dass die nun vom Menschen gemachte Ursache „CO₂-Erhöhung“ wirkungslos ist und es auch diesmal eine natürliche Ursache sein muss, die das Klima ändert. Warum sollte diese natürliche Ursache auch gerade in dem Moment auftreten, in dem wir Menschen selbst eine mögliche Ursache setzen? Das ist denkbar, aber nicht wahrscheinlich.

Wieso ist es von 1945 bis 1975 kälter geworden?

Die global und über das Jahr gemittelte bodennahe Lufttemperatur ist von 1900 bis 1945 klar gestiegen, dann bis ca. 1975 leicht gefallen und anschließend wieder – sogar besonders stark – gestiegen. Die Ursache der zwischenzeitlichen Abkühlung trotz weiter steigender CO₂-Konzentration wissen wir nicht genau. Vermutlich war es eine Folge des so genannten „Sulfat-Aerosol-Effektes“: In den Wirtschaftswunderjahren nach dem 2. Weltkrieg wurde viel Kohle und Erdöl verbrannt und dadurch wurde neben vielem CO₂ auch viel Schwefeldioxid (SO₂) in die Atmosphäre freigesetzt. Dort wandelte es sich chemisch um und bildete aus feinen Tröpfchen bestehende Sulfat-Aerosole. Diese lassen weniger Sonneneinstrahlung durch und wirken deshalb abkühlend. Dadurch haben sie (vermutlich) den Treibhauseffekt maskiert.

Die Sulfat-Aerosole verursachten aber auch den sauren Regen und die Gewässerübersäuerung. Als Konsequenz davon wurden in den 70er Jahren sehr effektive Entschwefelungsanlagen eingeführt, die die SO₂-Freisetzung um über 90 % reduzierten. Dadurch entfiel der abkühlende Effekt und seit 1980 läuft der Treibhauseffekt umso stärker. Berücksichtigt man in den Klimamodellen diesen Sulfat-Aerosol-Effekt, kann man den Temperaturverlauf des ganzen 20. Jahrhunderts sehr gut nachrechnen. Es führen aber auch viele andere (menschliche) Aktivitäten zu Aerosolen in der Atmosphäre.

LANGFASSUNG

Und viele dieser anderen Aerosole wirken ebenfalls abkühlend (einige wenige wirken auch erwärmend). Der gesamte Aerosol-Effekt wird heute vielfach als „global dimming“ bezeichnet. Er ist in den Schwellenländern durch die dortige Luftverschmutzung besonders stark ausgeprägt. Es wird befürchtet, dass im Falle eines Erfolges gegen die Luftverschmutzung (vor allem in China und Indien) die globale Erwärmung noch schneller voranschreitet.

Kann nicht auch die Sonne das Klima verändern ?

Natürlich kann sie das, und frühere Klimaschwankungen sind höchstwahrscheinlich immer durch eine Änderung der Intensität der Sonneneinstrahlung verursacht worden. Eis- und Warmzeiten lassen sich – jedenfalls einigermaßen – durch eine Änderung der Umlaufbahn der Erde um die Sonne, bzw. durch eine Änderung der Richtung der Erdachse erklären. Außerdem gibt es auf der Sonne manchmal dunkle Flecken (Sonnenflecken), die sich und damit die Sonnenstrahlung in einem 11-jährlichen Zyklus ändern, dem teilweise noch eine zunehmende oder abnehmende Tendenz überlagert ist. Das könnte die Ursache der früheren Klimaschwankungen (seit der letzten Eiszeit) gewesen sein, und es könnte auch die jetzige Klimaänderung verursachen.

Die Sonnenflecken lassen sich beobachten. Von 1900 bis etwa 1980 stimmt ihr Verlauf auch relativ gut mit der Klimaentwicklung überein (einschließlich der

leichten Abkühlung von 1945 bis 1975). Seit 1980 gibt es aber – so sagen jedenfalls die meisten Experten – keine Zunahme der Sonnenflecken mehr, mindestens da scheinen Sonnenflecken und Erwärmung auseinander zu laufen. Aber diese Zeit ist vielleicht noch zu kurz für ein endgültiges Urteil.

Die Intensität der Sonnenstrahlung lässt sich messen. Sie schwankt mit den Sonnenflecken und hat seit 1900 insgesamt zugenommen. Allerdings ist der Effekt so klein, dass er die beobachtete Erwärmung eindeutig nicht erklären kann. Aber es könnte ja Verstärkungsmechanismen geben. Ein immer wieder angeführter sieht so aus: Die Sonnenflecken verändern auch den Sonnenwind, einen Strom geladener Teilchen, die von der Sonne ausgesandt werden. Der Sonnenwind verändert das Erdmagnetfeld und das ändert die Menge der kosmischen Strahlung (Strahlung hoch energetischer Teilchen aus dem Weltraum), die auf die Erde trifft. Das ist weitgehend unumstritten, als solches aber nicht klimawirksam. Nun wird von einigen Forschern vermutet, dass die kosmische Strahlung Kondensationskeime in der Atmosphäre bewirkt und damit Wolkenbildung begünstigt. Das ist nicht bewiesen, aber möglich und es könnte das Klima beeinflussen. Nimmt man auf diesem Weg eine hohe Verstärkung für die Klimawirksamkeit der Sonnenflecken an, kann man den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre relativ gut erklären.

Treibhauseffekt oder Sonnenflecken, was denn nun wirklich ?

Den Klimaverlauf des letzten Jahrhunderts können wir also sowohl auf Basis des Treibhauseffektes (mit einer angenommenen starken Aerosolwirkung) als auch auf Basis der Sonnenflecken (mit einer angenommenen starken Verstärkung, z. B. über die kosmische Strahlung) relativ gut nachrechnen. Noch besser wird die Nachrechnung in beiden Fällen, wenn man auch ein klein wenig von der jeweils anderen möglichen Ursache zulässt. Die beste Übereinstimmung erhält man in dem einen Fall mit einem Anteil des Treibhauseffektes von 80 % und einem Sonnenanteil von etwa 20 %, und im anderen Fall mit fast umgekehrten Anteilen (wobei die Angaben in der Literatur allerdings stark schwanken). Da die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung in der Vergangenheit in beiden Fällen etwa gleich gut ist, kann man auf diesem Weg nicht entscheiden, welcher Ansatz der richtigere ist. Das ist aber wichtig, weil wir in dem einen Fall dringend etwas gegen die Freisetzung von CO₂ (und anderen Treibhausgasen) tun müssen, im anderen Fall das aber so gut wie gar nichts bringt.

Eine Bewertung der beiden Möglichkeiten ist aber mit einigen Hilfsüberlegungen möglich:

1. Physikalische Abgesichertheit: Der Treibhauseffekt ist physikalisch vollständig verstanden und grundsätzlich abgesichert. Er wirkt auf jeden Fall und er kann sehr wohl die dominierende Ursache sein. Wir

LANGFASSUNG

wissen nur nicht genau, ob er auch tatsächlich so stark ist. Von den Sonnenflecken wissen wir, dass die durch sie bewirkte Änderung der Sonneneinstrahlung bei weitem nicht ausreicht, die beobachtete Erwärmung zu erklären. Hier sind wir auf einen Verstärkungsmechanismus angewiesen, der physikalisch zwar prinzipiell möglich, in seiner Existenz aber nicht bewiesen ist (z. B. der über Sonnenwind und kosmische Strahlung).

2. Zeitpunkt: Die beobachtete Klimaänderung passt gut zum zeitlichen Verlauf der (anthropogen verursachten) Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Dass eine natürliche Klimaursache sich gerade zur selben Zeit im gleichen Sinne ändern soll, ist zwar möglich, aber solange kein Grund hierfür angegeben werden kann, nicht unbedingt wahrscheinlich.
3. Fingerprint-Methode: Wenn der Treibhauseffekt wirkt, ist das eine innere (innerhalb der Atmosphäre wirkende) und kontinuierlich wachsende Ursache. Wenn die Sonnenflecken wirken, ist das eine äußere (von außen auf die Erde einwirkende) Ursache, die außerdem zyklischen Schwankungen mit einer Periode von etwa 11 Jahren unterliegt. Das muss Auswirkungen auf das zeitliche, regionale und vertikale Muster der Klimaänderungen haben. Nach Meinung der meisten Experten stimmen die Beobachtungen deutlich besser mit dem Muster überein, das man beim

Treibhauseffekt als Ursache zu erwarten hat.

4. Zufällige Grenze: Die natürliche Konzentration von Treibhausgasen bewirkt einen Treibhauseffekt von 33 Grad Celsius. Es ist zwar denkbar, dass damit auch die Grenze erreicht ist, bis zu der ein Treibhauseffekt überhaupt wirken kann. Dann würde es zwar einen natürlichen, aber keinen anthropogenen Treibhauseffekt geben. Bei Fehlen einer physikalischen Begründung für so eine Grenze ist das aber eher unwahrscheinlich.

Diese Hilfsüberlegungen sprechen alle klar für die Treibhaustheorie. Das sind zwar keine Beweise, aber doch starke Indizien. Der Beitrag der Sonne zur Klimaänderung ist wahrscheinlich nur von untergeordneter Bedeutung.

Handeln unter Ungewissheiten

Es spricht also sehr vieles dafür, dass die Treibhaustheorie zumindest weitgehend stimmt und die Freisetzung von CO₂ (und anderen Treibhausgasen) die dominierende Ursache der in Gange befindlichen Klimaänderung ist. Dann sind allerdings auch die Folgen, wie sie von den Anhängern der Treibhaustheorie bei Fortschreiben der gegenwärtigen Trends erwartet werden, ernsthaft zu befürchten. Und die Mahnung, rasch zu handeln, weil sonst der Preis für Erfolg versprechendes Handeln immer höher wird, ist ebenso ernst zu nehmen. Diese Folgen beim gegebenen Stand des Wissens für unsere Kinder und Kindeskinde

riskieren, ist mit verantwortlichem Vorgehen nicht vereinbar. Wir müssen handeln, auch wenn es für Manchen nur ein vorsorgliches Handeln ist.

Vorgaben

Um die Folgen der laufenden Klimaänderung wenigstens einigermaßen in Grenzen zu halten, müssen wir – wenn denn die Treibhaustheorie stimmt – bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts die weltweiten Freisetzungen von CO₂ (und anderen Treibhausgasen) auf etwa die Hälfte des heutigen Wertes reduzieren (und längerfristig noch weiter). Dabei wird sich der Weltenergiebedarf infolge des Bevölkerungswachstums und zur Linderung des verbreiteten Hungers und Elends in der Welt mindestens noch verdoppeln, und die Industrieländer werden überdurchschnittlich viel zur Lösung des Klimaproblems beitragen müssen. Diese müssen ihre CO₂-Freisetzungen wahrscheinlich um 80 % reduzieren, wenn Aussicht auf Erfolg bestehen soll. Diese Vorgabe bedeutet eine praktisch völlige Umstellung unseres Energiesystems innerhalb weniger Jahrzehnte. Solche gravierenden Änderungen hat es in der Entwicklung der Menschheit noch nicht gegeben.

Handlungsmöglichkeiten

Grundsätzlich gibt es nur vier Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion von CO₂-Freisetzungen: Energiesparen (d. h. rationellere Energieanwendung), regenerativ Energieformen, Kernenergie und die CO₂-Sequestrierung (Abtrennung und Lagerung des CO₂ bei weiterer Nutzung fossiler

LANGFASSUNG

Energieträger). Um die Vorgaben zu erreichen, werden alle vier Handlungsmöglichkeiten ihren Beitrag leisten müssen. Und je nach dem, mit welcher Verteilung unseres Handelns auf diese vier Möglichkeiten wir das Ziel zu erreichen versuchen, werden die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung und die verursachten Kosten sehr unterschiedlich sein.

Hierzu gibt es umfangreiche Literatur und auch in den Energie-Fakten gibt es schon zahlreiche Aussagen hierzu. Zusätzliche Informationen können den in der Kurzfassung genannten Ergänzungen zu diesem Beitrag entnommen werden.

Hingewiesen sei noch auf die enge Verknüpfung des Klimaproblems mit anderen Umwelt-

problemen. Wenn wir die Probleme nicht gemeinsam lösen, werden wir wahrscheinlich keines lösen können. Das habe ich in meinem Buch „Globale Umweltprobleme – Ursachen und Lösungsansätze“, Friedmann Verlag München, 2004, ISBN 3-933431-31-X, im Einzelnen dargelegt. ■